



TITLE:

緑藻のCO濃縮機構におけるピレノ  
イドデンプン鞘の役割(  
Abstract\_要旨)

AUTHOR(S):

豊川, 知華

---

CITATION:

豊川, 知華. 緑藻のCO濃縮機構におけるピレノイドデンプン鞘の役割.  
京都大学, 2020, 博士(生命科学)

ISSUE DATE:

2020-05-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22677>

RIGHT:

許諾条件により本文は2021-04-01に公開

(続紙 1 )

京都大学	博士（生命科学）	氏名	豊川 知華
論文題目	緑藻のCO <sub>2</sub> 濃縮機構におけるピレノイドデンプン鞘の役割		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>水圏環境下では、CO<sub>2</sub> 固定酵素 ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase（Rubisco）の基質となる CO<sub>2</sub> の拡散速度が大気中に比べて低く、藻類は CO<sub>2</sub> 欠乏ストレスに曝される。CO<sub>2</sub> 欠乏ストレス環境において、多くの藻類は光合成を維持するために、無機炭素（CO<sub>2</sub> と HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>）を細胞内に輸送し Rubisco 周囲に CO<sub>2</sub> を濃縮する CO<sub>2</sub> 濃縮機構（CO<sub>2</sub>-concentrating mechanism, CCM）を誘導する。この CCM の誘導に伴い、葉緑体ストロマで Rubisco が集積し、ピレノイドとその周囲にデンプン鞘が形成される。緑藻クラミドモナスでは、β 型炭酸脱水酵素に類似する構造をもつタンパク質 Low-CO<sub>2</sub> inducible protein B（LCIB）が、葉緑体ストロマからピレノイド周囲に移動する。LCIB はピレノイドから漏出する CO<sub>2</sub> のリサイクルに関わると考えられているが、そのピレノイドへの局在化に必要な因子は明らかにされていなかった。本研究では、LCIB がピレノイド周囲に局在化するために必要な環境条件ならびに新規因子を明らかにすることを目的とした。</p> <p>通気する空気中の CO<sub>2</sub> 濃度、pH 条件、培地中の溶存無機炭素濃度、ならびに光照射条件を検討したところ、ピレノイド周囲への LCIB の移動には、培地中の溶存全無機炭素濃度や溶存重炭酸イオン濃度の低下ではなく、溶存 CO<sub>2</sub> 濃度が 7μM 未満に低下する超低 CO<sub>2</sub> 条件が必要であることを明らかにした。また、従来は LCIB のピレノイド周囲への移動は光合成を介した制御を受けると考えられていたが、細胞を超低 CO<sub>2</sub> 条件かつ光照射後に暗所または光合成電子伝達阻害剤の添加条件に移しても、溶存 CO<sub>2</sub> 濃度が 7 μM 未満であれば LCIB の移動が起こることから、LCIB の移動に光が直接関わるのではなく、超低 CO<sub>2</sub> 条件かつ光照射時において蓄積する何らかの因子が存在する可能性が示唆された。</p> <p>次に、超低 CO<sub>2</sub> 条件で LCIB のピレノイドへの移動が遅延し、葉緑体基底側に LCIB を異常凝集する変異株 4-D1 を単離した。この変異株は、デンプン枝切り合成酵素 isoamylase 1（ISA1）の遺伝子に変異し、ピレノイドの周囲に本来蓄積するデンプン鞘が形成されなかった。さらに 4-D1 株は超低 CO<sub>2</sub> 条件において、細胞膜局在型の HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 輸送体の蓄積レベルが低下し、光合成における無機炭素に対する親和性が低下して生育が遅延した。デンプン合成に関わる糖転移酵素（α-1,4 glucanotransferase）の変異株 <i>sat11-1</i> も 4-D1 株と同様の表現型を示した。</p> <p>以上の結果から、溶存CO<sub>2</sub>濃度の低下がLCIBの移動に重要であること、これまで役割が明確でなかったピレノイド周囲に形成されるデンプン鞘が、LCIBのピレノイド周囲への局在化と、CCMの駆動に伴う超低CO<sub>2</sub>条件における無機炭素親和性の維持に必要であることを示した。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

光合成生物にとって種々の環境変化に順化して光合成活性を維持することは生存に直結する重大な機能である。特に藻類が生息する水圏環境では、CO<sub>2</sub> 固定酵素 ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) の反応基質である CO<sub>2</sub> の拡散速度が大気中に比べて低く、藻類は CO<sub>2</sub> 欠乏ストレスに曝される。この CO<sub>2</sub> 欠乏ストレス環境下で光合成を維持するために、多くの藻類は、無機炭素 (CO<sub>2</sub> と HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 輸送体、炭酸脱水酵素、ピレノイド等の構造体からなる CO<sub>2</sub> 濃縮機構 (CO<sub>2</sub>-concentrating mechanism, CCM) を、CO<sub>2</sub> 欠乏の環境条件で誘導する。Rubisco 周囲に CO<sub>2</sub> を濃縮するこの CCM の誘導に伴い、チラコイド膜の周囲に Rubisco が集積し、ピレノイドとその周囲にデンプン鞘が形成される。これまで緑藻クラミドモナスでは、β 型炭酸脱水酵素の構造上の特長をもつタンパク質 Low-CO<sub>2</sub> inducible protein B (LCIB) が、葉緑体ストロマからピレノイド周囲に移動し、ピレノイドから漏出する CO<sub>2</sub> のリサイクルに関わると考えられてきた。しかし、そのピレノイドへの局在化に必要な因子はこれまで明らかにされていなかった。

培地に通気する空気中の CO<sub>2</sub> 濃度、pH 条件、培地中の溶存無機炭素濃度、ならびに光照射条件を検討することで、ピレノイド周囲への LCIB の移動には、培地中の溶存全無機炭素濃度や溶存重炭酸イオン濃度の低下ではなく、溶存 CO<sub>2</sub> 濃度が 7μM 未満に低下する超低 CO<sub>2</sub> 条件が必要であることを明らかにした。また、従来は LCIB のピレノイド周囲への移動は光合成の制御を受けると考えられていたが、細胞を超低 CO<sub>2</sub> 条件で光照射した後、暗所または光合成電子伝達阻害剤の添加条件に移しても、溶存 CO<sub>2</sub> 濃度が 7 μM 未満であれば LCIB の移動が起こることを示した。つまり、LCIB の移動に光が直接関わるのではなく、超低 CO<sub>2</sub> 条件かつ光照射時において蓄積する何らかの因子が存在する可能性を示した。

さらに、超低 CO<sub>2</sub> 条件で LCIB のピレノイドへの移動が遅延し、葉緑体基底側に LCIB を異常凝集する変異株 4-D1 を単離、この変異株が、デンプン枝切り合成酵素 isoamylase 1 (ISA1) の遺伝子の変異をもつこと、ピレノイドの周囲に本来蓄積するデンプン鞘を形成しなかったことから、これまで役割が明確でなかったピレノイド周囲に形成されるデンプン鞘が、LCIB のピレノイド周囲への局在化に必要であることを明らかにした。さらに ISA1 変異株では、超低 CO<sub>2</sub> 条件における細胞膜局在型の HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>輸送体の蓄積レベルが低下すること、光合成における無機炭素に対する親和性が低下して生育が遅延することから、デンプン鞘が CCM の駆動に伴う超低 CO<sub>2</sub> 条件における無機炭素親和性の維持に必要であることを初めて示した。

以上のように、本論文は、生命科学の理解・発展に寄与する新しい発見を記載しており、生命科学に関する高度で幅広い学識、植物生理学分野における優れた研究能力、優れた思考能力に基づいて論理的活一貫性をもって記述されている。よって、博士(生命科学)の学位論文として価値あるものと認めた。さらに、令和2年(2020年)3月6日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。(ただし、学位規則第8条の規定により、猶予期間は学位授与日から3ヶ月以内を記入すること。)

要旨公開可能日： 年 月 日